 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i5.10264

Research on Conversion Method of Cement Concrete Volume Ratio and Weight Ratio

Guangtao Sun Xipeng Li

Engineering Management Center, CITIC Heavy Industries Machinery Co., Ltd., Luoyang, Henan, 471003, China

Abstract

Cement soil, as a widely used inorganic binder stabilizing material in engineering construction, requires precise control of its mix design ratios as a critical factor for ensuring project quality. While volume ratios are commonly employed in engineering design, construction material batching and quality inspection must rely on weight ratios. Therefore, accurate conversion between volume and weight ratios has become a key technology bridging design and construction processes. Based on material density characteristics and mixture composition principles, this study systematically derives universal conversion formulas for cement soil volume-to-weight ratios, analyzes the impact of raw material density, moisture content, and compaction degree on conversion results, and demonstrates application workflows through engineering case studies. The research provides theoretical support and practical guidance for mix design control and cost management in cement soil projects, demonstrating significant engineering application value.

Keywords

cement-soil mixture; volume ratio; weight ratio; conversion method; bulk dry density

水泥土体积比与重量比换算方法研究

孙光涛 李喜鹏

中信重工机械股份有限公司工程管理中心，中国 · 河南 洛阳 471003

摘 要

水泥土作为工程建设中应用广泛的无机结合料稳定材料，其配合比的精准控制是保障工程质量的核心环节。实际工程设计中多采用体积比表达配合比，而施工配料、质量检测则需以重量比为依据，因此体积比与重量比的精准换算成为衔接设计与施工的关键技术。本文基于材料密度特性与混合料组成原理，系统推导了水泥土体积比与重量比的通用换算公式，分析了原材料密度、含水率、压实度等因素对换算结果的影响规律，结合工程实例说明换算方法的应用流程。该研究可为水泥土工程的配合比控制、工程造价控制提供理论支撑与实践指导，具有重要的工程应用价值。

关键词

水泥土；体积比；重量比；换算方法；松干密度

1 引言

在公路路基、建筑地基处理、边坡防护等工程中，水泥土凭借取材便捷、造价低廉、强度与稳定性良好等优势，被广泛应用于基层、垫层及地基改良施工中。配合比作为控制水泥土性能的核心指标，直接决定了材料的抗压强度、承载力、耐久性等关键工程特性，其精准度直接影响工程结构的安全性与耐久性。若设计及施工等方面出现偏差，不满足规范要求，则会造成后期出现裂缝、抗压承载能力下降等问题 [1]。

目前，工程施工现场阶段经常采用体积比（如水泥土 1:6 等）表达配合比，该方式直观、便捷，便于现场施工技术人员快速确定原材料的用量比例，符合行业设计习惯。但在实际施工过程中，工程造价计算（如水泥用量、土方量等）均以重量为计量依据，质量检测（如水泥剂量检测）也需通过重量比进行评定，这就要求将工程施工阶段的体积比精准换算为工程质量控制与造价控制的重量比。

然而，当前工程实践中，多数施工单位采用经验值进行换算，未充分考虑原材料密度、含水率、压实状态等因素的影响，导致换算结果存在较大误差，进而引发配合比偏差，出现材料强度不足、稳定性变差等质量问题，严重时甚至影响工程结构的安全运营。例如，在水泥土地基处理中，水泥用量换算偏差过大，会造成材料浪费或强度不达标，增加工程成本，造成安全隐患，若水泥土量大的情况下会发生造价争议。

本文基于材料力学与土力学原理，结合室内试验与工程实践，重点开展以下工作：① 明确水泥土体积比与重量比的定义及换算核心依据；② 推导体积比与重量比的通用

【作者简介】孙光涛（1978–），男，硕士，高级工程师，从事工程管理研究。

换算公式，分析各影响因素的作用机制；③ 结合工程实例说明换算方法的应用流程，提出优化换算精度的技术措施，为工程实践提供参考。

2 水泥土体积比、重量比的定义及换算原理

2.1 核心定义

水泥土是由水泥、土、水按一定比例混合、拌制并经硬化而成的材料，主要用于改善土体地基承载力和稳定性能；其强度与稳定性主要依靠石灰与土的化学反应形成的胶结作用实现。两者的体积比与重量比定义如下：

（1）体积比：指水泥与土在自然堆积状态下的体积之比，通常以“水泥 : 土”的形式表示，记为 V_n:V_s（其中 V_n 为水泥体积，V_s 为土的体积）。工程设计中常用的体积比如 1:6 水泥土（水泥体积 : 土体积 =1:6），该比例基于原材料自然堆积状态下的体积计算，不考虑压实作用的影响。

（2）重量比：指水泥的干重量与土的干重量之比，通常以百分比形式表示（水泥剂量），记为 m_n:m_s（其中 m_n 为水泥干重量，m_s 为土的干重量）。

2.2 换算核心原理

体积比与重量比的换算本质上是通过原材料的密度建立体积与重量之间的关联。根据密度的定义，材料的重量等于密度与体积的乘积，即 $m=\rho V$（其中 m 为重量，ρ 为密度，V 为体积）。

对于水泥土，假设水泥与土的干密度分别为 ρ_n（kg/m³）和 ρ_s（kg/m³），体积比为 V_n:V_s=k:1（k 为水泥与土的体积比系数），则水泥的干重量 $m_n=\rho_n V_n$，土的干重量 $m_s=\rho_s V_s$，由此可推导得出重量比与体积比的换算关系。需要强调的是，原材料的干密度应采用自然堆积状态下的实测值，即松干密度。松干密度是指粉末或颗粒状的无机料在自然堆积状态时测得的干密度值，该概念在路基施工、岩土试验等行业中常被用来描述土、石灰、水泥等材料的堆积特性，也称松装干密度 [2]。

3 水泥土体积比与重量比换算公式推导

3.1 水泥土换算公式推导

设水泥土的体积比为 V_n:V_s=a:b（a 为水泥体积，b 为土体积），水泥的松干密度为 ρ_n（kg/m³），土的松干密度为 ρ_s（kg/m³）。

根据密度定义，水泥的干重量为：

$$m_c=\rho_c \cdot V_c$$

土的干重量为：

$$m_s=\rho_s \cdot V_s$$

水泥土的重量比（水泥剂量）为水泥干重量与土干重量的比值，记为 ω_n，则：

$$\omega_c=\frac{m_c}{m_s}=\frac{\rho_c \cdot V_c}{\rho_s \cdot V_s}$$

由体积比 V_n:V_s=a:b，可得 V_n/V_s=a/b，代入上式，得到水泥土体积比换算为重量比的公式：

$$\omega_c=\frac{\rho_c \cdot a}{\rho_s \cdot b}\times 100\% \quad (1)$$

反之，若已知水泥土的重量比 ω_n，可推导体积比的换算公式：

$$\frac{V_c}{V_s}=\frac{\omega_c \cdot \rho_s}{\rho_c \cdot (1-\omega_c)} \quad (2)$$

式中：ω_n 为水泥土的重量比（水泥剂量，%）；ρ_n 为水泥的松干密度（kg/m³），常规普通硅酸盐水泥的松干密度为 1250~1450 kg/m³，具体取值需根据水泥品种实测确定；ρ_s 为松土的干密度（kg/m³），根据土的类别不同，松干密度通常为 1200~1500 kg/m³，需通过室内试验实测；a:b 为水泥土的体积比。

3.2 换算公式的修正

上述推导的换算公式基于原材料完全干燥、自然堆积的理想状态，但实际工程中，原材料（尤其是土）往往含有一定的含水率，会对干密度产生影响，进而导致换算误差。因此，需要对换算公式进行修正，考虑含水率的影响。

设土的含水率为 w_s（%），石灰的含水率为 w_l（%），水泥的含水率可忽略不计（水泥储存过程中含水率极低，对换算影响可忽略）。则湿土的密度 $\rho_{s,\omega}$ 和湿石灰的密度 $\rho_{l,\omega}$ 分别为：

$$\rho_{s,w}=\rho_s \cdot (1+w_s)$$
$$\rho_{l,w}=\rho_l \cdot (1+w_l)$$

将湿密度代入上述换算公式，即可得到考虑含水率修正后的换算公式。以石灰土为例，修正后的重量比换算公式为：

$$\omega_l'=\frac{\rho_{l,w} \cdot c}{\rho_{s,w} \cdot d}\times 100\%=\frac{\rho_l \cdot (1+w_l) \cdot c}{\rho_s \cdot (1+w_s) \cdot d}\times 100\% \quad (5)$$

同理，可得到水泥土考虑含水率修正后的换算公式。当原材料的含水率超过最佳含水率时，应进行晾晒或洒水调整，确保配合比换算的准确性。

同时，土与水泥的松干密度之比（定义为换算系数 R）对换算结果具有显著影响，$R=\rho_s/\rho_1$（ρ_s 为土的松干密度，ρ_1 为石灰的松干密度），将 R 代入换算公式，可进一步简化换算过程，提高换算效率，其体积比与重量比的关系可表示为：

$$\text{体积含水泥比}=\frac{yR}{1+(R-1)y} \quad (6)$$

式中 y 为单位质量水泥土中水泥的质量（数值上等于质量比），该公式可更直观地反映松干密度对换算关系的影响，当 R=1 时，体积含灰比与质量含灰比呈线性关系，否则为一条向上弓起的曲线。

4 影响换算精度的关键因素分析

结合换算公式与工程实践，影响水泥土、石灰土体积

比与重量比换算精度的因素主要包括原材料干密度、含水率、压实度及原材料均匀性，各因素的作用机制如下：

4.1 原材料干密度

原材料干密度（水泥、土的干密度）是换算公式的核心参数，其取值的准确性直接决定换算结果的精度。例如，普通硅酸盐水泥的松干密度约为 1250~1450 kg/m³，矿渣硅酸盐水泥的松干密度约为 14500 kg/m³；粉质黏土的松干密度约为 1350kg/m³，砂土的松干密度约为 1220 kg/m³[3]。

若采用经验值代替实测值，会在计算中出现误差。因此，原材料松干密度必须通过室内试验实测确定，严禁直接采用经验值。此外，换算时必须采用自然堆积状态下的干密度，因为体积比是基于自然堆积状态下的体积计算的，与施工配料时的原材料堆积状态一致。

4.2 原材料含水率

原材料的含水率会影响其湿密度，进而影响重量计算的准确性。例如某水泥土工程，土的松干密度为 1500 kg/m³，含水率为 10%，则湿土的密度为 1500×(1+10%)=1650 kg/m³；若忽略含水率，按干密度计算，每立方米湿土的重量会少算 150 kg，导致土的用量不足，水泥剂量相对偏高，影响材料性能。因此，在换算前，需对原材料的含水率进行实测，根据实测含水率修正干密度，确保换算结果的准确性。

需要注意的是，水泥在符合规范要求的情况下含水率极低（通常≤1%），对换算结果的影响基本没有，不用考虑。

4.3 压实度

压实度是水泥土施工质量的核心控制指标，指工地上实际达到的干密度与室内标准击实实验所得最大干密度的比值，以百分率表示，压实度越高，材料整体性能越好。然而，在实际施工中，若压实度不足，会导致混合料的体积膨胀，实际用量与设计用量出现偏差，间接影响配合比的控制。因此，虽然压实度不直接影响换算公式的计算结果，但在施工过程中，需严格控制压实度，确保混合料的用量与设计一致，间接保障配合比的精准性。

4.4 原材料均匀性

原材料的均匀性包括颗粒级配、成分均匀性等，若原材料不均匀，会导致干密度、含水率等参数的实测值不具代表性，进而影响换算精度。因此，在进行原材料参数实测时，应遵循“随机取样、均匀混合”的原则，选取具有代表性的样品进行试验，确保实测参数能够反映原材料的整体特性。对于石灰，应确保消解充分，过筛去除未消解颗粒后再进行干密度与含水率的测定；对于土，应选取不同部位、不同深度的土样，混合均匀后进行试验，减少试验误差。

5 工程实例应用

5.1 工程概况

某工业厂房工程，位于粉质黏土回填区域，为保证承载力，进行地基换填处理，地基改良采用水泥土回填，设计体积比为 10:90（水泥 : 土）。工程施工过程中，需将设计体积比换算为重量比，用于施工配料与质量检测，确保配合比精准控制。

该工程所用原材料参数：土松干密度 1365 kg/m³，含水率 12.5%；普通硅酸盐水泥松干密度 1425 kg/m³，含水率可忽略不计。

5.2 换算过程

已知水泥土体积比 a:b=10:90，水泥松干密度 ρ_n=1425 kg/m³，土松干密度 ρ_s=1365 kg/m³，土含水率 w_s=12.5%，水泥含水率忽略不计，采用修正后的水泥土换算公式：

$$\omega_c'=\frac{\rho_c\cdot a}{\rho_s\cdot(1+w_s)\cdot b}\times100\%=\frac{1425\times10}{1365\times(1+12.5\%)\times90}\times100\%\approx10.3\%$$

即水泥土设计体积比 10:90，换算为重量比（水泥剂量）为 10.3%，施工配料时，按水泥干重量占土干重量的 10.3% 进行计量，材料、造价计算皆可按此精确控制。

5.3 应用效果验证

该工程按上述换算后的重量比进行施工材料采购，施工过程中按体积比进行施工控制，随机抽取混合料样品进行质量检测，测定水泥剂量，检测结果显示：水泥剂量实测值为 9.8%~10.6%，平均 10.4%，与换算值基本一致，均满足工程质量控制要求。工程完工后，对处理地基承载力检测，均达到设计要求，表明采用本文推导的换算公式进行配合比换算，能够有效保障工程质量，避免因配合比偏差导致的质量问题。

6 结论

本文基于材料密度特性与混合料组成原理，系统开展了水泥土、石灰土体积比与重量比的换算研究，通过理论推导与工程实例验证，得出以下结论：

（1）明确了水泥土体积比与重量比的核心定义，体积比基于原材料自然堆积状态下的体积计算，重量比基于原材料干重量计算，两者的换算核心是通过原材料的松干密度建立体积与重量的关联。（2）推导了水泥土体积比与重量比的通用换算公式，并考虑含水率的影响进行了修正，给出了体积比与重量比相互换算的具体表达式，公式简洁、实用，可直接应用于工程实践。（3）影响换算精度的关键因素包括原材料干密度、含水率、原材料均匀性，其中原材料松干密度是核心影响因素，采用实测参数进行换算，可将误差控制在满足工程精度要求之内；压实度对换算结果无直接影响，但需严格控制以保障混合料用量与设计一致。（4）工程实例验证表明，本文推导的换算公式准确性高、可行性强，能够有效解决工程中配合比表达与实际配料脱节的问题，为水泥土工程的配合比控制提供了可靠的理论支撑与实践指导。

参考文献

[1] 吴彬. 高速公路沥青路面水泥稳定土配比和性能试验分析 [J]. 黑龙江交通科技，2019，42（9）：238，240.

[2] 颜凌瑞, 孟军省,尹小涛. 松干密度的测定及其在灰土地基质量控制中的作用[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(5): 521-525.

[3] GB50009-2012 建筑结构荷载规范[S].